




Français 
2 of 2

Images Description and Claims (75 Kb)

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(11) WO 01/50087

(13) A2

(21) PCT/FR00/03725

(22) 28 December 2000 (28.12.2000)

(25) French

(26) French

(30) 00/00155

07 January 2000

FR

(07.01.2000)

(43) 12 July 2001 (12.07.2001)

(51)⁷ G01C 21/00, G05D 1/02, B64C 13/18

(54) FLIGHT-MANAGEMENT COMPUTER SMOOTHING AN AIRCRAFT PATH OVER SEVERAL SEQUENCES

(71) THALES AVIONICS S.A. [FR/FR]; Aérodrôme de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).

(72) IKHLEF, Yann [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du

(75) Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). DAOUPHARS, Patrick [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(74) NGUYEN VAN YEN, Christian; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, av. du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

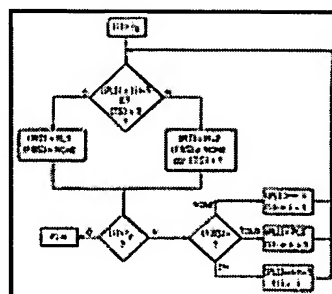
(81) CA, IN, JP, US

(84) European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)

Published

-- without international search report and to be republished upon receipt of that report

(57) The invention concerns a computer for calculating transitions between the legs of an aircraft flight plan without discontinuity of a path based on computation routines of the aircraft constructor's standardised transitions, and this over an unlimited number of legs. The dependability of the computer is considerably improved thereby.



2 of 2

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 juillet 2001 (12.07.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/50087 A2

(51) Classification internationale des brevets²:

G01C 21/00, G05D 1/02, B64C 13/18

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): IKHLEF, Yann [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). DAOUPHARS, Patrick [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/FR00/03725

(22) Date de dépôt international:

28 décembre 2000 (28.12.2000)

(25) Langue de dépôt:

français

(74) Mandataire: NGUYEN VAN YEN, Christian; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, av. du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(26) Langue de publication:

français

(30) Données relatives à la priorité:

00/00155

7 janvier 2000 (07.01.2000) FR

(81) États désignés (national): CA, IN, JP, US.

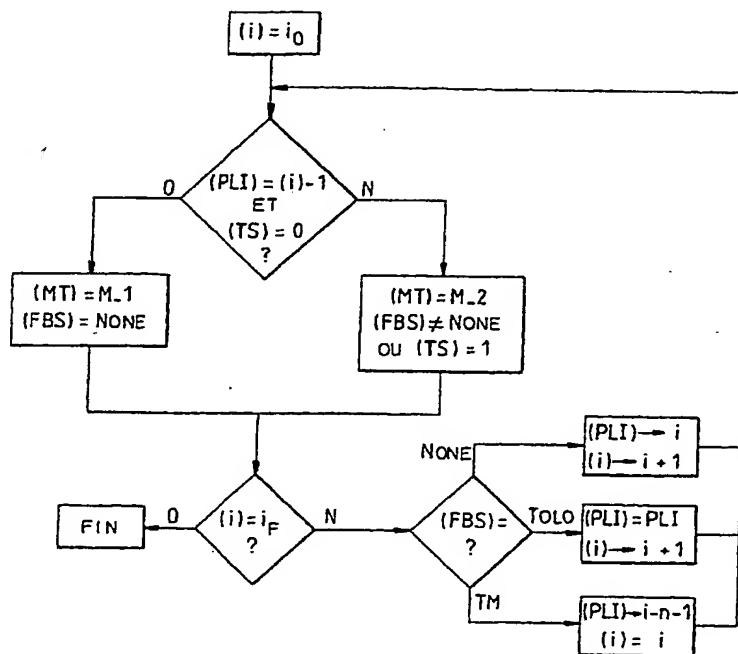
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US):
THALES AVIONICS S.A. [FR/FR]; Aérodrome de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).

(84) États désignés (régional): brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: FLIGHT-MANAGEMENT COMPUTER SMOOTHING AN AIRCRAFT PATH OVER SEVERAL SEQUENCES

(54) Titre: CALCULATEUR DE VOL LISSANT LA TRAJECTOIRE D'UN AERONEF SUR PLUSIEURS SEQUENCES



(57) Abstract: The invention concerns a computer for calculating transitions between the legs of an aircraft flight plan without discontinuity of a path based on computation routines of the aircraft constructor's standardised transitions, and this over an unlimited number of legs. The dependability of the computer is considerably improved thereby.

[Suite sur la page suivante]

WO 01/50087 A2



Publiée:

— Sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport.

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé:** Le calculateur selon la présente invention permet de calculer les transitions entre les legs d'un plan de vol d'aéronef sans discontinuité de trajectoire à partir des routines de calcul des transitions normalisées de l'avionneur, cela sur un nombre illimité de legs. La fiabilité du calculateur en est grandement augmentée.

CALCULATEUR DE VOL LISSANT LA TRAJECTOIRE D'UN AERONEF SUR PLUSIEURS SEQUENCES

La présente invention concerne les calculateurs de vol embarqués
5 sur aéronefs.

Les calculateurs de vol (« flight management computers » ou FMC en anglais) permettent le pilotage automatique des aéronefs. Dans une première étape, les calculs effectués à partir des données normalisées (Norme ARINC 424) sur la route à suivre génèrent un plan de vol constitué
10 par une suite de segments, dits « legs », permettant de relier un point de départ à un point d'arrivée. Les séquences de legs sont elles-mêmes normalisées. Dans une deuxième étape, des transitions curvilignes d'un segment à l'autre du plan de vol sont calculées en tenant compte, le cas échéant, des paramètres de vol fournis par les capteurs embarqués, pour
15 former une trajectoire lissée qui minimise l'inconfort imposé aux passagers de l'aéronef et les efforts sur ses structures. Les avionneurs ont créé leurs normes propres qui définissent un nombre limité de transitions applicables aux séquences de legs des normes ARINC. Cependant, dans de nombreuses configurations, les calculateurs génèrent normalement des
20 discontinuités dans les transitions, telles que des recouvrements ou des ruptures de trajectoires, qu'il est indispensable de supprimer.

Différents calculateurs permettant de supprimer ces discontinuités ont été décrits, notamment par les brevets américains 3 994 456, 4 354 240 et 5 646 854. Ces dispositifs ne prennent en compte au maximum que trois
25 legs consécutifs, reposent sur des calculs de transitions spécifiques à ces configurations de legs et non sur les transitions correspondants aux séquences de legs normalisées et laissent subsister un nombre de cas non résolus qui génèrent des erreurs du calculateur.

Le calculateur selon la présente invention permet de calculer des
30 transitions entre deux legs non consécutifs, le nombre de legs sautés étant quelconque, lesdites transitions étant choisies parmi celles appliquées en l'absence de saut de leg. La fiabilité du calculateur en est grandement augmentée.

A cette fin, l'invention propose un dispositif de calcul de la trajectoire d'un aéronef du type comprenant un module mémoire propre à stocker un plan de vol, constitué par une suite de segments de vol reliant un point de départ et un point d'arrivée, ces segments dits « legs », étant définis
5 parmi un nombre prédéterminé de types, et leurs enchaînements étant définis parmi un jeu prédéterminé de possibilités, et un module de prévision de trajectoire, capable de travailler par enchaînement d'une procédure de calcul sur legs, et d'une procédure de calcul de transition entre legs, choisie
10 parmi plusieurs en fonction de premières règles de décision, ainsi que de mémoriser au moins partiellement les éléments de trajectoire résultants, ce module possédant un mode spécial opératoire en cas de saut de leg,

caractérisé en ce que, dans ce mode spécial, ledit module est capable d'appliquer l'une desdites procédures de transition entre legs, entre deux legs non consécutifs, en fonction de seconde règles de décision.

15 L'invention sera mieux comprise, et ses différentes caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui suit d'un exemple de réalisation, et de ses figures annexées, dont:

- la figure 1 montre les six types normalisés de transition mis en œuvre par le calculateur selon l'invention;
- 20 - la figure 2 montre deux cas de discontinuité de trajectoire pour deux transitions successives ;
- la figure 3 montre comment sont supprimées les discontinuités de la figure précédente par les dispositifs de l'art antérieur ;
- la figure 4 montre deux cas de discontinuités pour plus de deux
25 transitions successives ;
- la figure 5 montre comment sont supprimées les discontinuités de la figure précédente par le dispositif selon l'invention ;
- la figure 6 représente les blocs fonctionnels du calculateur de la trajectoire d'un aéronef selon l'invention ;
- 30 - la figure 7 représente le bloc diagramme du calcul de la trajectoire d'un aéronef selon l'invention .

Un plan de vol est donc constitué par une suite de portions rectilignes ou « legs » qui joignent un point initial et un point terminal et dont
35 l'enchaînement permet de relier un point de départ à un point d'arrivée.

Selon la norme ARINC 424, les legs peuvent être de vingt-et-un types différents en fonction des caractéristiques du point initial et du point terminal. Ces types normalisés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous selon leur appellation anglaise, dans lequel l'abréviation DME veut dire « Distance

5 Measuring Equipment ».

| Abréviation | Signification |
|-------------|---------------------------------------|
| AF | DME Arc |
| CA | Course to Altitude |
| CD | Course to DME Distance |
| CF | Course to Fix |
| CI | Course to Intercept |
| CR | Course to Radial |
| DF | Direct to Fix |
| FA | Course from Fix to Altitude |
| FM | Course from Fix to Manual termination |
| HA | Holding pattern to Altitude |
| HF | Holding pattern to Fix |
| HM | Holding pattern to Manual termination |
| IF | Initial Fix |
| PI | Procedure Turn |
| RF | Radius to a Fix |
| TF | Track to Fix |
| VA | Heading to Altitude |
| VD | Heading to DME Distance |
| VI | Heading to Intercept |
| VM | Heading to Manual termination |
| VR | Heading to Radial |

La trajectoire calculée sera constituée de la suite des legs du plan de vol reliés deux à deux par une ou plusieurs portions curvilignes. En effet, les changements brutaux de cap d'un aéronef ne sont ni possibles ni souhaitables. Dans le contexte dans lequel l'invention est mise en œuvre, six types normalisés de transitions ont été définis. Ils sont représentés sur les figures 1.1 à 1.6 sur lesquelles les abréviations et symboles ont les significations ci-dessous et constituent les paramètres nécessaires pour les calculs des transitions:

- abréviations communes : (TERM_FIX) = « point fixe » ;
(PREVIOUS TERM_FIX) = « point fixe précédent » ; (NEXT TERM_FIX) =
« point fixe suivant » ; (FIX_NAVALD) = « balise fixe » ; (TC) = « Turn
Center » ou « centre du virage » ; (ITP) = « Initial Turn Point » ou « point de
5 début de virage » ; (FTP) = « Final Turn Point » ou « point de fin de virage » ;
(N) = « Nord magnétique » ; (χ_i) = « Initial Track » ou « cap initial » ; (χ_f) =
« Final Track » ou « cap final » ; ($\Delta\chi$) = « Track variation » ou « changement
de cap » ;

- figure 1.1 : (Rms) = « Roll manoeuver start » ou « début de
10 manœuvre » ; (RAD) = « Roll manoeuver Anticipation Distance » ou
« distance d'anticipation de la manœuvre » ; (TAD) = « Turn Anticipation
Distance » ou « distance d'anticipation de virage » ; (INP) = « Intermediate
Point » ou « point milieu » ; (B) = « bissectrice » ; (Rme) = « Roll manoeuver
end » ou « fin de manœuvre » ;

- figure 1.2 : (tc_1) = « track change 1 » ou « changement de cap
1 » ; (ttr) = « trans turn radius » ou « rayon de virage de transition » ; ($tLIP$) =
« trans Leg Intercept Point » ou « point d'intersection des legs de
15 transition » ;

- figure 1.5 : (t_{des}) = « tear drop entry sector » ou « secteur
20 d'entrée de la transition d'approche » ; (ep) = « entry point » ou « point
d'entrée » ; (is) = « inbound segment » ou « segment d'entrée » ; (os) =
« outbound segment » ou « segment de sortie » ;

- figure 1.6 : (ρ) = « arc DME » ; ($\Delta\psi$) = « route DME » ; (eb) =
« exit bearing » ou « azimuth de sortie ».

25 Lorsque les legs sont suffisamment longs, les transitions
successives sont proportionnelles aux legs et la continuité de la trajectoire
est assurée par une succession de legs et de transitions qui n'interfèrent
pas.

Cependant, lorsque les legs sont de courte distance et forment
30 entre eux des angles de 90° ou plus, il est courant de voir apparaître des
configurations semblables à celles des figures 2.1 et 2.2 qui rendent le
calcul automatique de trajectoire impossible sans moyen supplémentaire.
Dans le cas de la figure 2.1, la transition (AB) dépasse ou « overshoot » la
terminaison du leg L_2 . On parle également de cas de « fish ». Dans ce cas, il
35 n'est pas possible de calculer la transition suivante par les méthodes

usuelles. Dans le cas de la figure 2.2, le point (B') terminal de la transition (A'B') se situe au-delà du point initial (C') de la transition suivante (C'D'). On parle alors de cas de « bird ». On parle, pour désigner de manière générique ces deux types de cas de « fish-bird ».

- 5 La solution classique apportée par l'art antérieur (notamment le brevet US 3,994,456) à ce type de situations est de sauter le leg intermédiaire et de calculer une transition directe comme indiqué sur les figures 3.1 et 3.2. Sur la figure 3.1, le leg (L_2) de la figure 2.1 a été sauté et une transition unique (AE) a été calculée. De même, sur la figure 3.2, le leg (L'_2) de la figure 2.2 a été supprimé et une transition unique (A'D') a été également calculée.

- 10 Cette solution ne permet pas de résoudre les cas du type illustré par les figures 4.1 et 4.2 où plusieurs transitions successives font apparaître des fish-bird (cas de fish-bird multiple). Au contraire, la présente invention permet la mise en œuvre de moyens autorisant le saut de plusieurs legs consécutifs, comme illustré sur les figures 5.1 et 5.2, et le calcul de la transition entre le dernier leg non sauté et le premier leg suivant.

- Sur la figure 4.1, les cinq legs de L''_1 à L''_5 , tous de type TF (Track to Fix), seraient normalement reliés par des transitions (A''B'') à (G''H'') faisant apparaître trois birds (B'' overshoots C'' ; D'' overshoots E'' ; F'' overshoots G''). Selon l'art antérieur, le leg L''_2 est sauté et la transition entre L''_1 et L''_3 est calculée, puis la procédure normale serait que le leg L''_4 soit sauté et que la transition entre L''_3 et L''_5 soit calculée. Cependant, il n'y a pas dans ce cas de moyen d'éviter que la suite des deux transitions L''_1 L''_3 et L''_3 L''_5 ne génère une discontinuité. Le calculateur sera donc en erreur et le pilote devra reprendre la main. Comme illustré sur la figure 5.1, l'invention permet de sauter les legs L''_2 , L''_3 et L''_4 et de calculer la transition directe de L''_1 à L''_5 par le segment (I''J'') qui est une transition de type II. Une autre illustration de l'intérêt de l'invention est fournie par les figures 4.2 et 5.2. Sur la figure 4.2 est exposé une autre configuration de cinq legs TF générant deux birds ((B''') overshoots (C''') et (F''') overshoots (G''')) et un fish (D''') overshoots la terminaison du leg L'''_3). La trajectoire selon l'invention, illustrée sur la figure 5.2 est également calculée par le saut

de trois legs, le premier et le cinquième leg étant directement reliés par une transition (A'''L''') également de type II.

Le calculateur selon l'invention sera normalement composé, comme illustré en figure 6, d'un module de stockage (MEM) permettant de
5 mémoriser les données du plan de vol, d'un module de calcul (CAL), d'un dispositif d'acquisition et de traitement des données fournies par les capteurs de vol (CAP), tels que cap, altitude, vitesse, distance par rapport à un repère DME entre autres, d'un module d'entrée manuelle de données par un pilote ou navigateur (ENT), tel qu'un clavier entre autres, un module
10 d'affichage des données de plan de vol et de trajectoire pour le pilote ou le navigateur (AFF).

Le module de calcul selon l'invention peut notamment comporter un processeur de type Power PC ou TMS320C31 ou C34 et différents étages mémoires et composants passifs. Ce module pourra être remplacé
15 par tout autre module de calcul capable d'effectuer un calcul complet de trajectoire selon la norme, soit sur deux cent legs au maximum, en cinq secondes ou moins.

L'organisation fonctionnelle des moyens qui font l'objet de la présente invention est illustrée sur le bloc diagramme de la figure 7. Ces
20 moyens sont constitués par un programme d'ordinateur dont l'effet technique est notamment de permettre le calcul de la trajectoire de l'aéronef sur la totalité du plan de vol et donc de supprimer tous les cas de fish-bird, simples ou multiples.

25 Soient les définitions suivantes :

- (i), l'index du leg courant ;
- (PLI), le Previous Leg Index ou index du dernier leg non sauté ;
- (MT), la matrice de choix des transitions en fonction des cas d'enchaînement des legs ; (MT) peut prendre deux valeurs (M_1) et (M_2) ;
- 30 - (FBS), le Fish-Bird Status qui peut prendre les valeurs « NONE » ou « aucun » lorsqu'il n'y a pas de fish-bird, « TOLO » ou « Trans Onto Leg Overshoot » dans le cas « fish » illustré par la figure 2.1, « TM » ou « Trans Merge » dans le cas « bird » illustré par la figure 2.2 ;
- (TS) est un indicateur d'état logique qui permet de distinguer
35 les cas où un traitement spécifique doit être appliqué ((TS) = 1);

- (n) est le nombre de legs sautés depuis le dernier leg non sauté.

A l'initialisation du calculateur, (i) est fixé à la valeur (i_0) qui désigne le premier leg sur lequel des calculs sont possibles, soit en règle générale, le leg suivant immédiatement le leg actif, c'est-à-dire le leg parcouru par l'avion à ce moment. Un test est ensuite appliqué sur (PLI) et (TS). Si (PLI) = (i) - 1 ET (TS) = 0, d'une part, le dernier leg non sauté est le leg précédent le leg courant, cela veut dire qu'aucun cas de fish-bird n'a été détecté ((FBS) = NONE) et d'autre part qu'il n'y a pas de traitement spécifique à appliquer. La transition entre le leg précédent et le leg courant doit être choisie dans une matrice (M_1) telle que celle figurant ci-dessous, où les en-têtes des lignes (j) et des colonnes (k) sont les abréviations des legs de la norme ARINC 424 et les valeurs figurant dans les cases de la matrice sont les numéros d'ordre de I à VI des types de transitions de la figure 1, le symbole (*) indiquant les enchaînements impossibles et la lettre (D) une discontinuité obligatoire définie par l'ARINC.

| | K | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| J | | AF | CA | CD | CF | CI | CR | DF | FA | FM | HA | HF | HM | IF | PI | RF | TF | VA | VD | VI | VM | VR |
| 1 | AF | VI | III | III | I | III | III | * | I | I | V | V | V | * | * | II | * | III | III | III | III | III |
| 2 | CA | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 3 | CD | VI | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 4 | CF | VI | III | III | I | III | III | IV | I | I | V | V | V | * | I | II | I | III | III | III | III | III |
| 5 | CI | VI | * | * | IV | * | * | * | IV | IV | * | * | * | D | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 6 | CR | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 7 | DF | VI | III | III | I | III | III | IV | I | I | V | V | V | * | I | * | I | III | III | III | III | III |
| 8 | FA | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | * | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 9 | FM | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | * | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 10 | HA | VI | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | * | * | II | II | III | III | III | III | III |
| 11 | HF | VI | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | * | * | II | II | III | III | III | III | III |
| 12 | HM | VI | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | * | * | II | II | III | III | III | III | III |
| 13 | IF | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | * | D | * | D | D | D | D | D | D |
| 14 | PI | * | * | * | II | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 15 | RF | VI | III | III | II | III | III | * | II | II | V | V | V | * | * | II | II | * | * | * | * | * |
| 16 | TF | VI | III | III | I | III | III | * | I | I | V | V | V | D | I | II | I | III | III | III | III | III |
| 17 | VA | * | III | III | I | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 18 | VD | VI | * | * | IV | * | * | * | IV | IV | * | * | * | D | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 19 | VI | VI | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 20 | VM | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |
| 21 | VR | * | III | III | II | III | III | IV | II | II | * | * | * | D | * | * | * | III | III | III | III | III |

Si (PLI) \neq (i) - 1 OU (TS) = 1, soit le dernier leg a été supprimé, ce qui veut dire que (FBS) \neq NONE, soit il faut appliquer un traitement spécifique. Dans les deux cas, la valeur de la transition à appliquer est donnée par la case $m_{2,j,k}$ de la matrice (M_2) figurant à l'intersection de la ligne (j) dont l'en-tête est égale au type du dernier leg non sauté et de la

colonne (k) dont l'en-tête est égale au type du leg courant. La matrice M₂ sera du type figurant ci-dessous.

| | K | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| J | | AF | CA | CD | CF | CI | CR | DF | FA | FM | HA | HF | HM | IF | PI | RF | TF | VA | VD | VI | VM | VR |
| 1 | AF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 2 | CA | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 3 | CD | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 4 | CF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 5 | CI | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 6 | CR | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 7 | DF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 8 | FA | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 9 | FM | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 10 | HA | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 11 | HF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 12 | HM | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 13 | IF | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ | TS ₁ |
| 14 | PI | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| 15 | RF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 16 | TF | II | II | II | II | II | II | II | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 17 | VA | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 18 | VD | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 19 | VI | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 20 | VM | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |
| 21 | VR | II | III | III | II | III | III | IV | II | II | TS ₃ | TS ₃ | TS ₃ | TS ₂ | II | II | II | III | III | III | III | III |

5 Les valeurs de m_{2,j,k} sont déterminées de la manière suivante :

- m_{2,j,k} = II lorsque (k) = 1, 4, 8, 9, 14, 15, 16 sauf lorsque (j) = 13, 14, ou lorsque (k) = 2, 3, 5, 6, 7 et (j) = 1, 4, 7, 11, 15, 16 ;

- m_{2,j,k} = III lorsque (k) ≥ 17 sauf lorsque (j) = 13, 14, ou lorsque (k) = 2, 3, 5, 6 et (j) = 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 21 ;

10 - m_{2,j,k} = IV lorsque (k) = 7 et (j) = 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 21 .

Les autres valeurs de (j) et de (k) conduisent à des traitements spécifiques ou des enchaînements impossibles. Dans une mise en œuvre de l'invention, on peut distinguer quatre cas de traitements spécifiques :

15 - m_{2,j,k} = TS₁ ∨ (k) lorsque (j) = 13 : quelle que soit la configuration de l'enchaînement, on refuse de sauter le leg courant ; le point de départ de la transition vers le leg courant précède le point de terminaison du dernier leg non sauté, qui est un fix ; la transition se dégrade en type II à partir de la terminaison du leg courant qui sera automatiquement survolée ;

20 - m_{2,j,k} = TS₂ ∨ (j) lorsque (k) = 13 : quelle que soit la configuration de l'enchaînement, on refuse de sauter le dernier leg non sauté ; la transition est conservée telle quelle même si elle overshoot le point de terminaison du leg courant ;

- $m_{2,j,k} = TS_3 \forall (j)$ lorsque $10 \leq (k) < 13$: quelle que soit la configuration de l'enchaînement, on refuse de sauter le dernier leg non sauté et on construit une interception directe jusqu'au point d'entrée du « hold », le leg courant étant transformé en leg de type DF (« Direct to Fix ») ;
- 5 - $m_{2,j,k} = TS_4$ lorsque $(j) = 14$ et $(k) = 4$: quelle que soit la configuration de l'enchaînement, on refuse de sauter le leg courant et rien n'est modifié.

Les cas $(j) = 14$ et $(k) \neq 4$ correspondent à des enchaînements impossibles : un leg PI est nécessairement suivi d'un leg CF ; ni le
10 calculateur de plan de vol ni le pilote ne peuvent imposer une configuration différente.

Que la matrice de choix des transitions soit (M_1) ou (M_2) , on teste ensuite si l'indice du leg courant pointe sur le dernier leg du plan de vol. Si tel n'est pas le cas, on teste ensuite (FBS) de manière à calculer les
15 nouvelles valeurs à appliquer aux index (i) du leg courant et (PLI) du dernier leg non sauté pour la boucle suivante de calcul. Trois cas sont possibles :

- dans le cas où $(FBS) = \text{NONE}$, les deux index (i) et (PLI) sont augmentés de 1 ;
- dans le cas où $(FBS) = \text{TOLO}$, l'index (PLI) n'est pas modifié et
20 l'index (i) est augmenté de 1 ;
- dans le cas où $(FBS) = \text{TM}$, l'index (PLI) est repositionné à la dernière valeur $i-n-1$ de (PLI) non sauté.

La présente invention permet de réduire de manière très
25 importante le nombre de cas où le calculateur générera une erreur, le pilote devant alors tracer la trajectoire en mode manuel. Bien entendu, cette dernière possibilité est toujours ouverte lorsqu'elle est nécessaire ou apparaît plus avantageuse.

L'invention peut être mise en œuvre avant le décollage pour
30 calculer une trajectoire en préparation de mission ou en vol de manière dynamique, à partir du plan de vol mémorisé avant le décollage ou à partir d'un plan de vol quelconque recalculé pendant le déroulement de la mission.

L'invention peut être mise en œuvre dans différentes versions de la norme ARINC 424 et s'adapter sans difficulté aux évolutions futures de
35 celle-ci. Ce sera notamment le cas pour les procédures « Required

Navigation Performance » ou RNP qui définissent des zones limites à ne pas dépasser autour du leg. Il en est de même en cas d'évolution des transitions types appliquées selon les spécifications de l'avionneur aux enchaînements des legs normalisés. Dans ces deux cas, la matrice M_1 et/ou la matrice M_2 seront modifiées en conséquence, ainsi que le cas échéant les routines de calcul des transition auxquelles il est fait appel en fonction de l'application des matrices de décision.

Il est également possible d'adapter l'invention à un nombre de cas de calcul d'index supérieur à trois, si cela apparaît nécessaire.

Il est aussi possible de prévoir plus de deux matrices de décision.

De même, s'il est nécessaire de gérer en parallèle plus de deux indices, au moins dans certains cas, il est possible de prévoir des matrices de décision ayant autant de dimensions que d'indices à gérer.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de calcul de la trajectoire d'un aéronef du type comprenant un module mémoire (MEM) propre à stocker un plan de vol, 5 constitué par une suite de segments de vol reliant un point de départ et un point d'arrivée, ces segments dits « legs », étant définis parmi un nombre prédéterminé de types, et leurs enchaînements étant définis parmi un jeu prédéterminé de possibilités, et un module de prévision de trajectoire (CAL), capable de travailler par enchaînement d'une procédure de calcul sur legs, 10 et d'une procédure de calcul de transition entre legs, choisie parmi plusieurs en fonction de premières règles de décision (M_1), ainsi que de mémoriser au moins partiellement les éléments de trajectoire résultants, ce module possédant un mode spécial opératoire en cas de saut de leg, caractérisé en ce que, dans ce mode spécial, ledit module est capable d'appliquer l'une 15 desdites procédures de transition entre legs, entre deux legs non consécutifs, en fonction de seconde règles de décision (M_2).

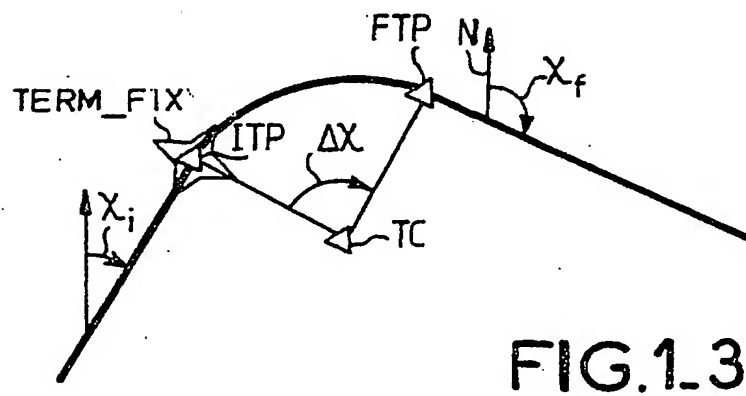
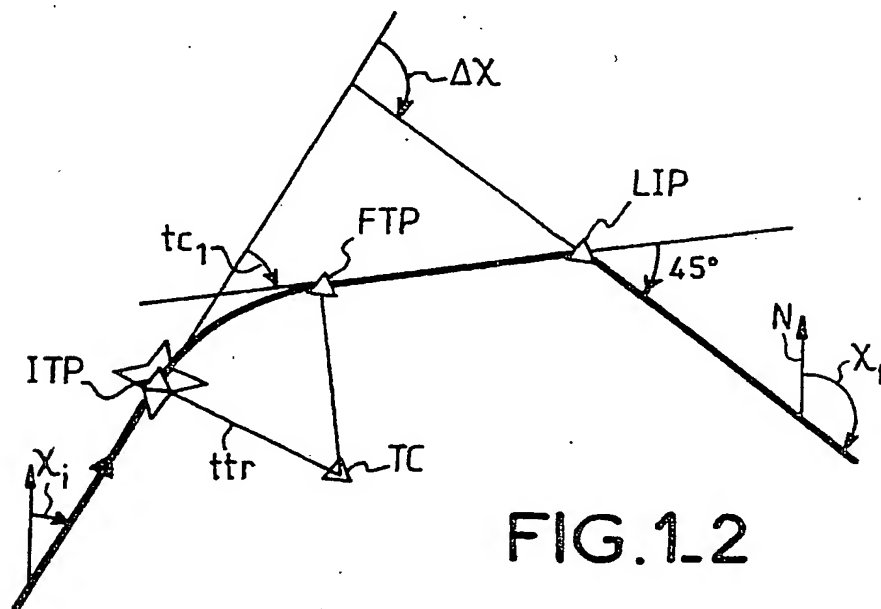
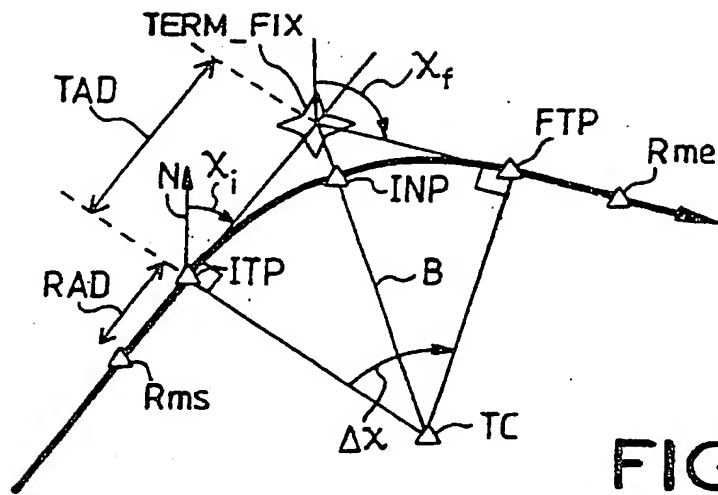
2. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit module est capable de discriminer des configurations irrégulières entres legs dans lesquelles il peut prendre ledit mode spécial en effectuant 20 itérativement des sauts de legs chaque fois qu'une configuration indésirable est à nouveau rencontrée.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est capable de calculer et de mémoriser les index (i) du leg courant et (PLI) du dernier leg non sauté, ledit calcul étant tel que, si 25 le leg précédent n'a pas été sauté, (i) est augmenté de une unité et (PLI) est positionné à (i), si le leg précédent a été sauté parce que générant une transition aboutissant au-delà du point terminal du leg courant, (i) est augmenté d'une unité et (PLI) n'est pas modifié et si le leg précédent a été modifié parce que générant une transition aboutissant au-delà du point initial 30 du leg courant, (i) n'est pas modifié et (PLI) est repositionné à l'index du dernier leg non sauté.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, lorsqu'un leg du plan de vol est sauté, la transition qui relie le dernier leg non sauté au leg courant est choisie parmi trois types de 35 solutions numérotés de II à IV telles que, dans le cas de type II, l'aéronef

rejoint le leg courant par une portion rectiligne faisant un angle de 45° avec ledit leg courant, la transition entre le dernier leg non sauté et ladite portion rectiligne étant constituée par un arc de cercle commençant à la verticale dudit dernier leg non sauté et se terminant tangentielllement à ladite portion rectiligne, dans le cas de type III, l'aéronef rejoint le cap du leg courant par un arc de cercle commençant au point fixe terminal du dernier leg non sauté et se terminant tangentielllement au leg courant, dans le cas de type IV, l'aéronef rejoint le leg courant par un arc de cercle tangent au dernier leg non sauté et au leg courant, le choix entre lesdites trois solutions étant opéré selon une matrice de décision (M_2) dont les entrées en lignes d'indice (j) et en colonnes d'indice (k) sont constituées par les legs de plan de vol selon la norme ARINC 424 rangés selon l'ordre alphabétique croissant de ladite norme, les valeurs ($m_{2,j,k}$) de ladite matrice étant ($m_{2,j,k}$) = II lorsque (k) = 1, 4, 8, 9, 14, 15, 16 sauf lorsque (j) = 13, 14, ou lorsque (k) = 2, 3, 5, 6, 7 et (j) = 1, 4, 7, 11, 15, 16, ($m_{2,j,k}$) = III lorsque (k) \geq 17 sauf lorsque (j) = 13, 14, ou lorsque (k) = 2, 3, 5, 6 et (j) = 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 21, et ($m_{2,j,k}$) = IV lorsque (k) = 7 et (j) = 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 21, les autres valeurs de (j) et de (k) nécessitant des traitements spécifiques.

5. Dispositif selon les revendications 3 et 4 caractérisé en ce que dans les cas spécifiques selon la revendication 4, si (j) = 13, le traitement spécifique TS_1 est appliqué, c'est-à-dire que le leg courant est conservé et la transition est de type II à partir du point de terminaison du leg courant, si (k) = 13, le traitement spécifique TS_2 est appliqué, c'est-à-dire que le dernier leg non sauté est conservé de même que la transition calculée, si (k) = 10, 11, 12, le traitement spécifique TS_3 est appliqué, c'est-à-dire que le dernier leg non sauté est conservé et relié directement au point de départ du leg courant qui est transformé en leg « Direct to Fix », et si (j) = 14 et (k) = 4, le traitement spécifique TS_4 est appliqué, c'est-à-dire que le leg courant est conservé.



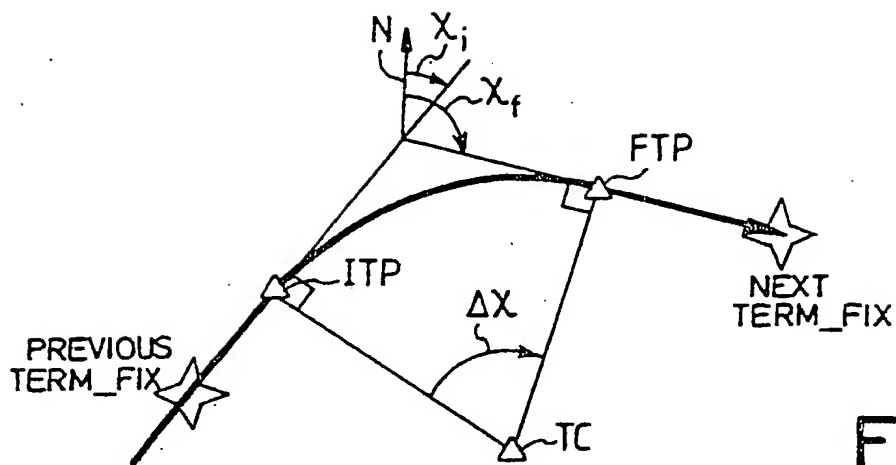
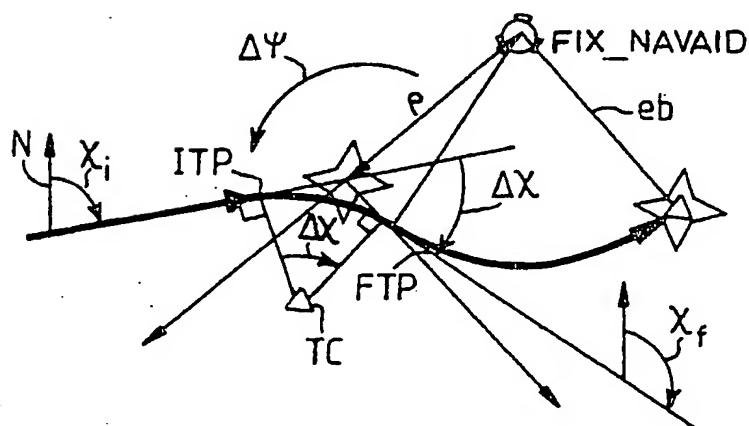
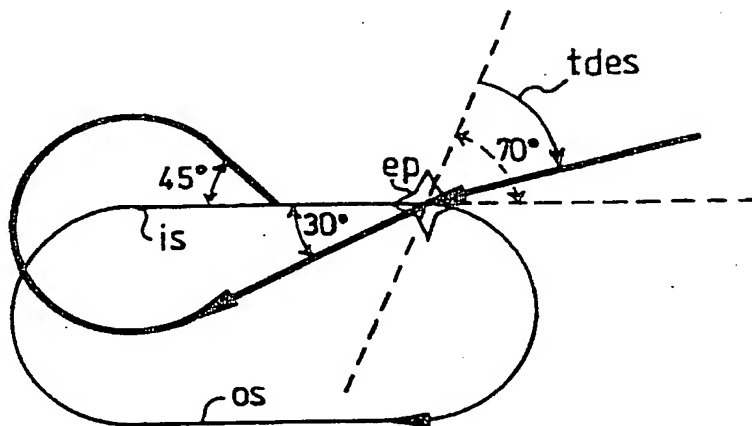


FIG.1.5



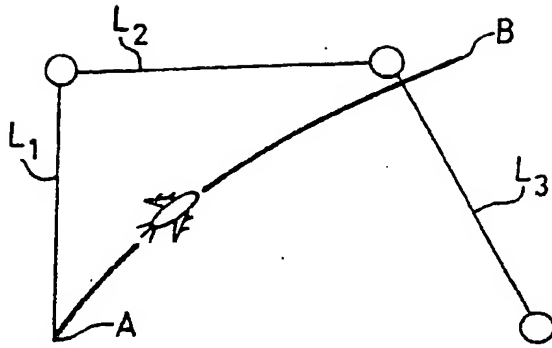


FIG. 2.1

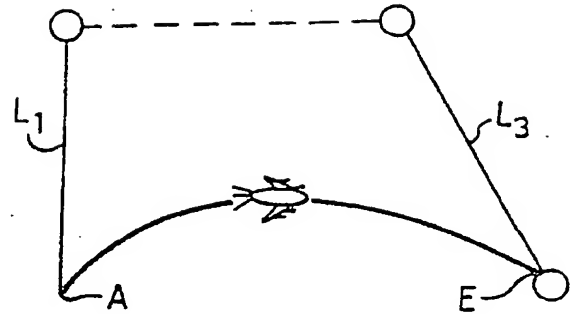


FIG. 3.1

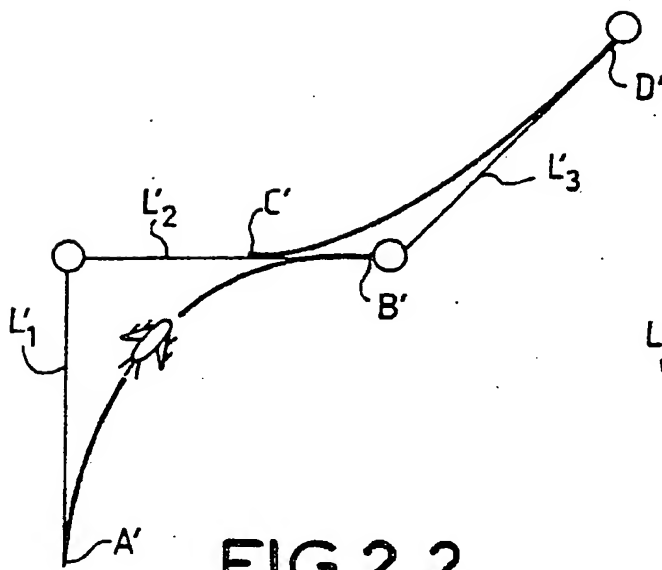


FIG. 2.2

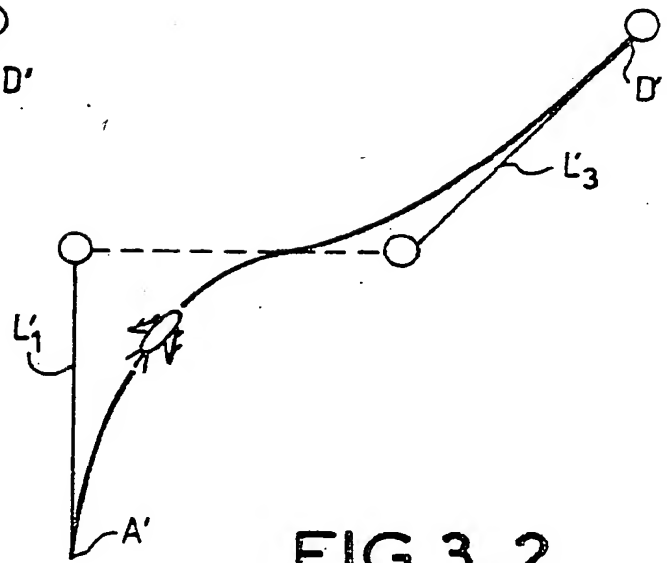
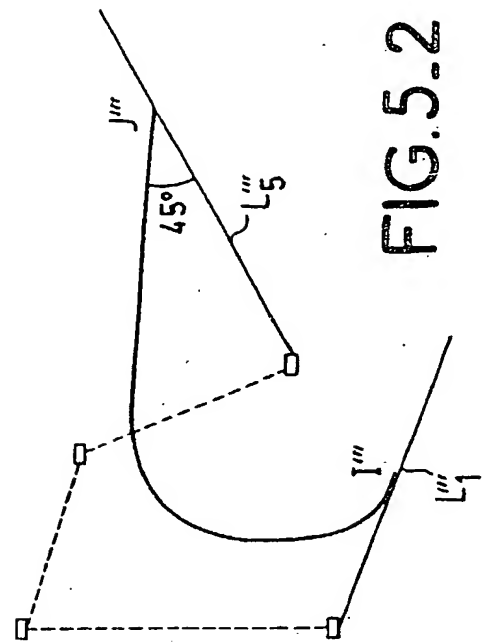
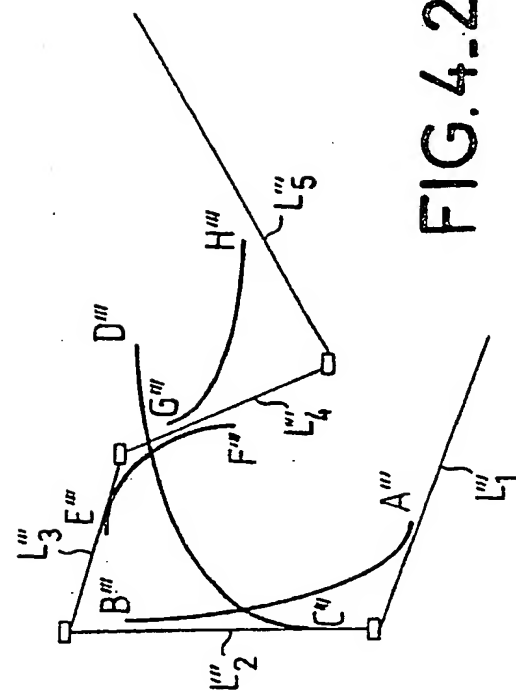
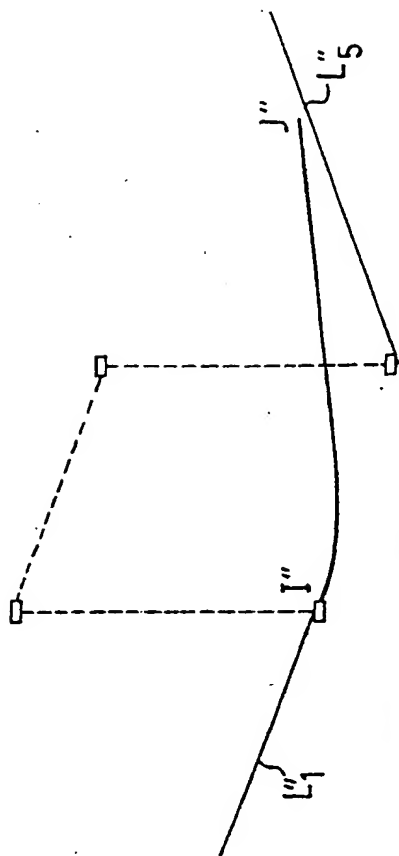
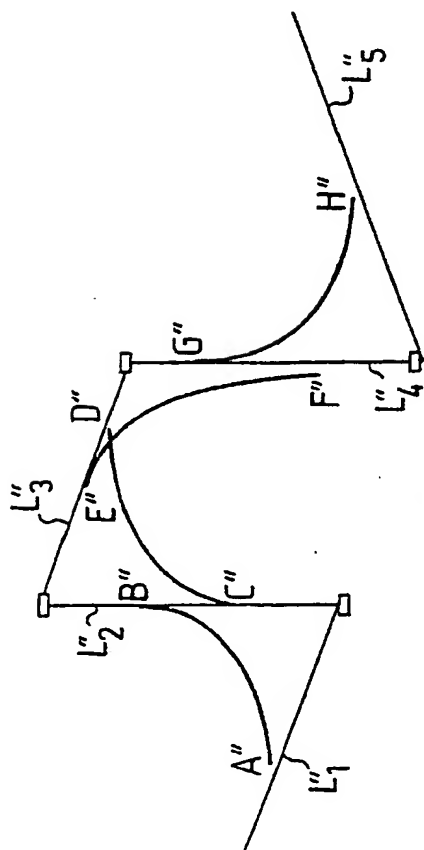


FIG. 3.2



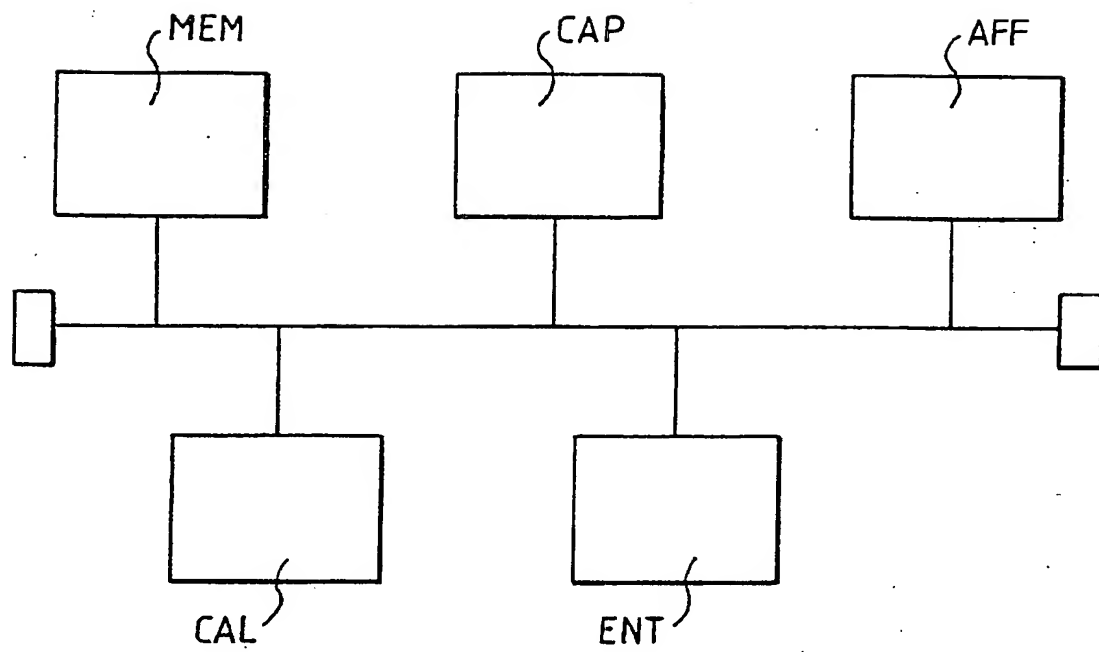


FIG.6

6/6

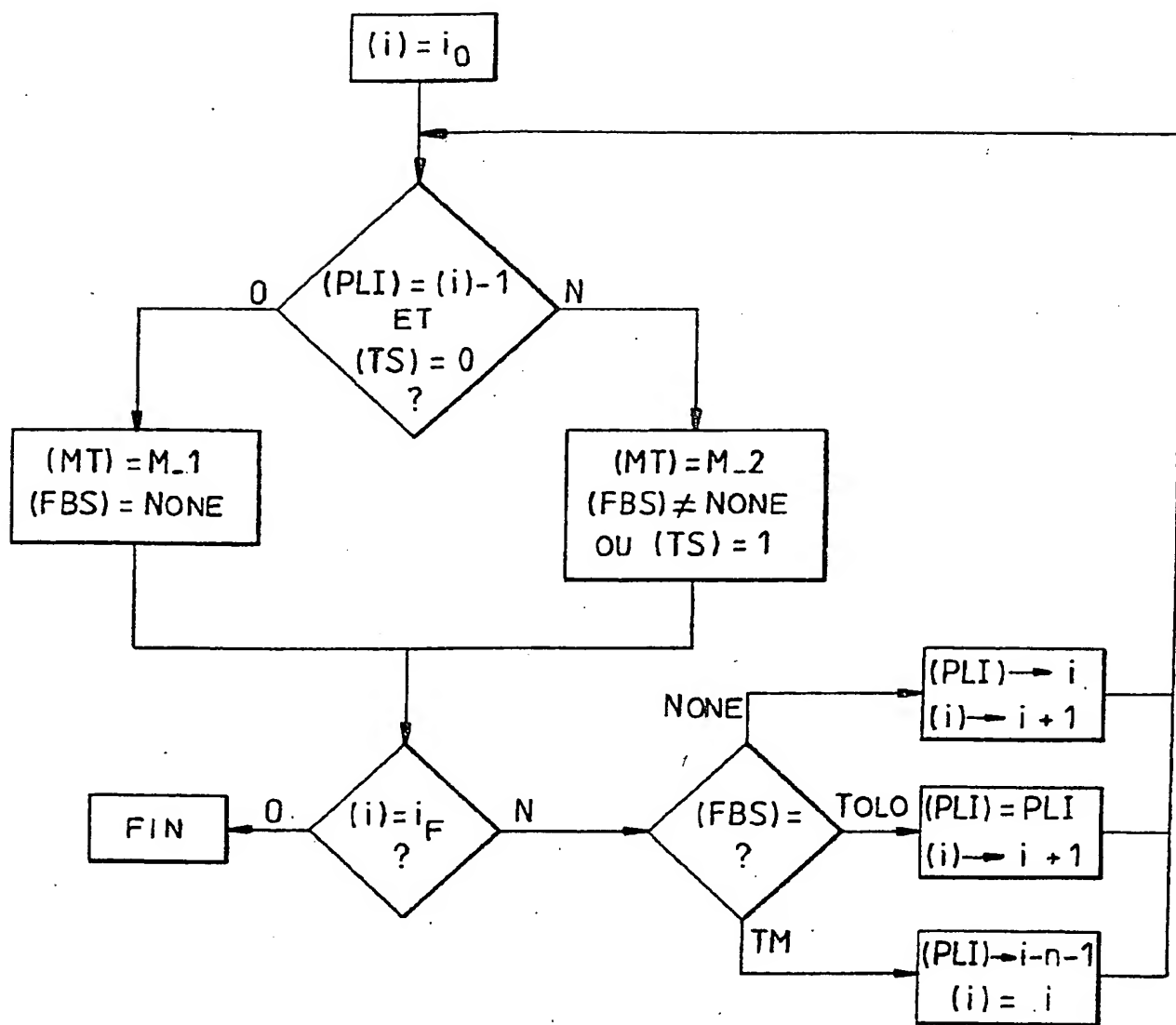


FIG.7

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 juillet 2001 (12.07.2001)

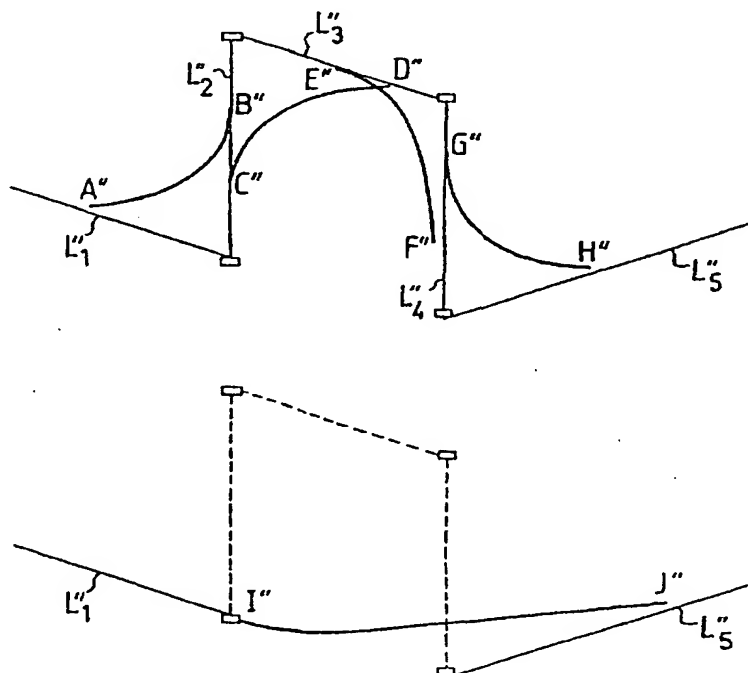
PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/50087 A3

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : G05D 1/02 (72) Inventeurs; et
(21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR00/03725 (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : IKHLEF, Yann [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). DAOUPHARS, Patrick [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).
(22) Date de dépôt international : 28 décembre 2000 (28.12.2000)
(25) Langue de dépôt : français (74) Mandataire : NGUYEN VAN YEN, Christian; Thales Intellectual Property, 13, av. du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).
(26) Langue de publication : français
(30) Données relatives à la priorité : 00/00155 7 janvier 2000 (07.01.2000) FR (81) États désignés (national) : CA, IN, JP, US.
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : THALES AVIONICS S.A. [FR/FR]; Aérodrome de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR). (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Suite sur la page suivante]

- (54) Title: FLIGHT-MANAGEMENT COMPUTER SMOOTHING AN AIRCRAFT PATH OVER SEVERAL SEQUENCES
(54) Titre : CALCULATEUR DE VOL LISSANT LA TRAJECTOIRE D'UN AERONEF SUR PLUSIEURS SEQUENCES



(57) Abstract: The invention concerns a computer for calculating transitions between the legs of an aircraft flight plan without discontinuity of a path based on computation routines of the aircraft constructor's standardised transitions, and this over an unlimited number of legs. The dependability of the computer is considerably improved thereby.

[Suite sur la page suivante]

WO 01/50087 A3



Publiée :

avec rapport de recherche internationale

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale:

3 janvier 2002

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : Le calculateur selon la présente invention permet de calculer les transitions entre les legs d'un plan de vol d'aéronef sans discontinuité de trajectoire à partir des routines de calcul des transitions normalisées de l'avionneur, cela sur un nombre illimité de legs. La fiabilité du calculateur en est grandement augmentée.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/03725

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G05D1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | US 5 646 854 A (BEVAN ERIK THANE) 8 July 1997 (1997-07-08) cited in the application abstract; figures 1-6 | 1 |
| A | US 3 994 456 A (POST WILLIAM C ET AL) 30 November 1976 (1976-11-30) cited in the application abstract; figure 2 | 1,2 |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 July 2001

Date of mailing of the international search report

16/07/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hunt, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/03725

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 5646854 A | 08-07-1997 | NONE | |
| US 3994456 A | 30-11-1976 | BR 7602979 A | 15-02-1977 |
| | | CA 1084613 A | 26-08-1980 |
| | | DE 2624095 A | 09-12-1976 |
| | | FR 2331084 A | 03-06-1977 |
| | | GB 1524261 A | 13-09-1978 |
| | | IL 49594 A | 30-04-1978 |
| | | IT 1066099 B | 04-03-1985 |
| | | JP 1033398 B | 13-07-1989 |
| | | JP 1555030 C | 23-04-1990 |
| | | JP 51146099 A | 15-12-1976 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 00/03725

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G05D1/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G05D

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie * | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-------------|--|-------------------------------|
| X | US 5 646 854 A (BEVAN ERIK THANE) 8 juillet 1997 (1997-07-08) cité dans la demande abrégé; figures 1-6 | 1 |
| A | US 3 994 456 A (POST WILLIAM C ET AL) 30 novembre 1976 (1976-11-30) cité dans la demande abrégé; figure 2 | 1,2 |

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

9 juillet 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/07/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hunt, J

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der. Je Internationale No

PCT/FR 00/03725

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| US 5646854 A | 08-07-1997 | AUCUN | |
| US 3994456 A | 30-11-1976 | BR 7602979 A | 15-02-1977 |
| | | CA 1084613 A | 26-08-1980 |
| | | DE 2624095 A | 09-12-1976 |
| | | FR 2331084 A | 03-06-1977 |
| | | GB 1524261 A | 13-09-1978 |
| | | IL 49594 A | 30-04-1978 |
| | | IT 1066099 B | 04-03-1985 |
| | | JP 1033398 B | 13-07-1989 |
| | | JP 1555030 C | 23-04-1990 |
| | | JP 51146099 A | 15-12-1976 |